

Проектирование для производства (DFM)

Часть 1. Выбор материалов

Игорь Зырин (igor.zyrin@altium.com), Дэвид Марракчи

В статье рассматриваются вопросы выбора материалов печатной платы с учётом конкретных требований, предъявляемых как со стороны разрабатываемого устройства, так и со стороны возможностей производства. Также рассмотрены возможности САПР Altium Designer, позволяющие учесть все необходимые требования.

ВВЕДЕНИЕ

Данная статья открывает цикл публикаций, посвящённых проектированию печатных плат с учётом особенностей технологии производства и технологических требований – проектированию для производства (DFM).

Процесс проектирования не заканчивается отправкой документации и сформированных данных на производство. Проектирование заканчивается только тогда, когда вы получаете физическое воплощение своего проекта, который работает так, как задумано. При этом перед разработчиками печатных плат возникают весьма трудоёмкие задачи, поскольку необходимо учитывать множество электрических, функциональных и механических факторов, различные специфические требования и правила. Кроме того, печатная плата должна производиться своевременно, с

наилучшим качеством и минимальными затратами. Предъявляемые технологические требования у производителей могут различаться. Прежде чем приступать к проектированию печатной платы, важно хорошо понимать процесс, лежащий в основе её производства, который обычно подробно описан у изготовителя [1].

Многолетний опыт работы в электронной промышленности позволил специалистам компании Altium накопить и систематизировать большой объём знаний в области проектирования печатных плат.

ВЫБОР БАЗОВОГО МАТЕРИАЛА

На начальном этапе проектирования всегда возникает вопрос выбора материала для изготовления платы. При этом необходимо учитывать требования, предъявляемые как со стороны

разрабатываемого устройства (условия эксплуатации, цена, быстродействие), так и со стороны производства (толщина материала, технологичность, наличие материала на складе).

В первую очередь перед выбором материала рекомендуется определить требования к функциональности и надёжности, которым должна соответствовать печатная плата. Обычно эти требования предъявляются к:

- электрическим свойствам;
- тепловым свойствам;
- соединениям (пайка компонентов, наличие разъемов и др.);
- структурной целостности платы;
- количеству электрических связей.

Одно из основных правил проектирования печатных плат заключается в том, что с увеличением сложности конструкции и повышением требований к свойствам изделия, неизбежно возрастают и затраты на производство. Всегда необходимо искать баланс между затратами, функциональностью и надёжностью с учётом конкретных требований к разрабатываемому устройству. На рисунке 1 показан типовой алгоритм выбора материала [2].

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ

Помимо основных требований к материалам платы существует целый ряд дополнительных параметров, непосредственно влияющих на выбор материала. Так, если в конструкции печатной платы применяются материалы с различными температурными характеристиками, то нужно учитывать тот факт, что максимальная допустимая температура готового изделия определяется материалом с самой низкой допустимой температурой. Ниже перечислены дополнительные важные параметры, которые необходимо учитывать при выборе материалов:

- тип связующего;
- огнестойкость;
- температурная стабильность;
- структурная прочность;
- электрические свойства;
- предел прочности при изгибах;
- максимальная рабочая температура, не вызывающая повреждений;
- температура стеклования (T_g);

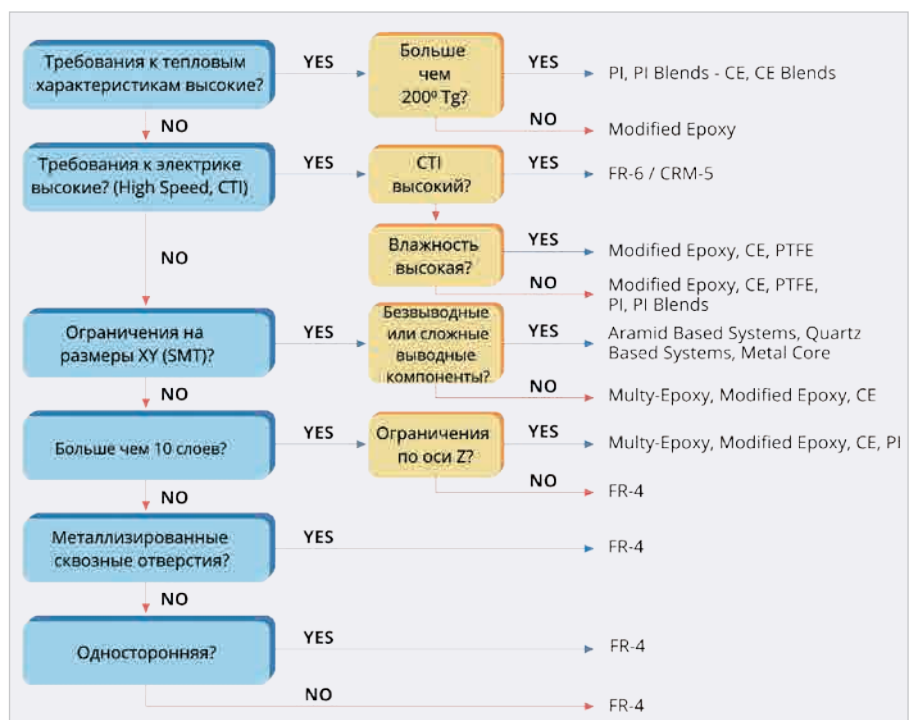
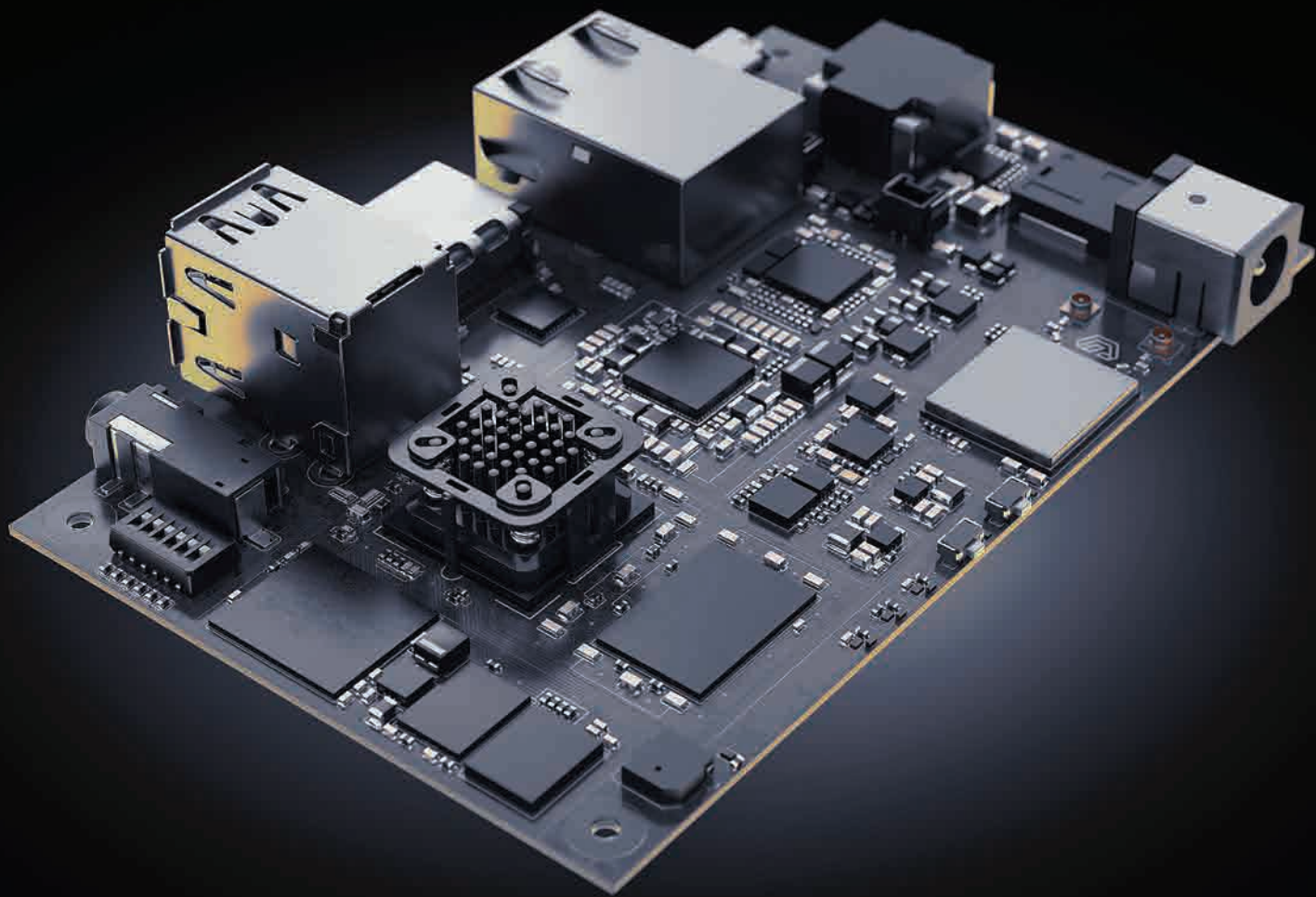


Рис. 1. Алгоритм выбора материала



Electronics Lifecycle
Management

ООО "ЭЛМ" официальный
дистрибьютор компании Altium

ALTIUM DESIGNER20

НОВЫЙ. БЫСТРЫЙ. УДОБНЫЙ.

www.altiumdesigner-20.ru

Тел. +7 (495) 005-51-45 Email: info@elm-c.ru www.elm-c.ru

Таблица 1. Типичные свойства самых распространённых диэлектрических материалов

Свойство	Материал					
	FR-4 (эпоксидное стекло марки E)	многофункциональная эпоксидная смола	эпоксидная смола высокой эффективности	бисмалеимидная эпоксидная/ трианзиновая смола	полиимид	цианатный эфир
Диэлектрическая постоянная (чистой смолы)	3,9	3,5	3,4	2,9	3,5...3,7	2,8
Электрическая прочность, В/мм	39,4×10 ³	51,2×10 ³	70,9×10 ³	47,2×10 ³	70,9×10 ³	65×10 ³
Объёмное сопротивление, МОм·см	4,0×10 ⁶	3,8×10 ⁶	4,9×10 ⁶	4×10 ⁶	2,1×10 ⁶	1,0×10 ⁶
Водопоглощение, %	1,3	0,1	0,3	1,3	0,5	0,8
Фактор рассеяния	0,022	0,019	0,012	0,015	0,01	0,004

Таблица 2. Значения по умолчанию для материала FR-4

Параметры	FR4 Standart	FR4 High-TG	FR4 Halogen Free	FR4 KF	Полиимид
Температура стеклования (T _g), °C	>135	>170	>140	>135	>230
Коэффициент теплового расширения по оси Z (СТЕ-z), ppm/°C	60	45	45	50	20
Проницаемость (ε _r) для 1 МГц	4,6	4,8	4,7	4,7	3,4
Электрическая прочность, кВ/мм	45	55	50	45	125
Поверхностное сопротивление, МОм	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁶
Сравнительный индекс трекинг-стойкости (CTI)	PLC3	PLC3	PLC3	PLC1 / PLC	–
Температура разложения (T _d), °C	301	345	360	310	–
Прочность при отслаивании, Н/мм	1,1...1,6	1,2	1,4	1,6	1,6
Группа горючести (UL-94)	V0	V0	V0	V0	V0
Стандарт	IPC-4101	IPC-4101	IPC-4101		IPC-4204

Таблица 3. Справочник толщин для материала FR-4

Ядро (базовый материал с медью)	Вес меди, oz	Толщина базового материала, мм	Измеренная толщина материала, мм
5	0,5/0,5	0,125±0,025	0,125
6	0,5/0,5	0,150±0,025	0,142
8	0,5/0,5	0,200±0,025	0,188
10	0,5/0,5	0,250±0,038	0,228
12	0,5/0,5	0,300±0,038	0,227
15	0,5/0,5	0,380±0,05	0,358
21	0,5/0,5	0,635±0,0635	0,632
28	0,5/0,5	0,711±0,0635	0,716
42	1/1	1,066±0,125	1,069

Таблица 4. Обозначение и толщина препрега FR-4

Тип препрега	Толщина, мм (дюйм)	Содержание смолы, %	Толщина после изготовления, мм
106	0,053 (0,002)	72...77	0,053...0,071
1080	0,0787 (0,003)	61...67	0,071...0,086
2113	0,100 (0,004)	53...56	0,096...0,116
2116	0,135 (0,005)	51...57	0,116...0,137
7628	0,193 (0,0075)	40...46	0,183...0,203

- армирующий листовой материал;
- нестандартные размеры и допуски;
- устойчивость к механической обработке;
- коэффициент теплового расширения (СТЕ);
- стабильность размеров;
- допуск на толщину.

Рассмотрим более подробно основные свойства материалов для печатной платы.

Свойства и толщина материалов

При выборе материала следует ознакомиться с его электрическими свойствами. Самыми важными электрическими параметрами, которые необходимо учитывать на данном этапе, являются электрическая прочность,

диэлектрическая проницаемость и влагостойкость. В таблице 1 приведён ряд самых распространённых материалов и их основные характеристики [3]. Однако производитель печатных плат может давать свои рекомендации и конкретные значения тех или иных параметров.

В таблице 2 приведены значения прочих параметров на примере самого распространённого материала FR-4 [4]. Эти параметры можно использовать в качестве значений по умолчанию при определении конкретных требований к материалам печатной платы. Эти значения могут меняться в зависимости от конкретного выбранного основного материала и его толщины.

В таблице 3 приведён список наиболее распространённых материалов для изготовления печатных плат типа FR-4 [5].

Данный список поможет выбрать подходящую толщину и может быть использован для таких материалов, как GETEK®, Rogers®, FR-406 и FR-408.

Толщина препрега на примере FR-4

Препрег (предварительно пропитанный) представляет собой листовой материал (обычно – стеклоткань), который отверждается при помощи смолы (стадия отверждения – промежуточная).

Большинство производителей печатных плат имеют пять типов препрегов: 106, 1080, 2113, 2116 и 7628. В таблице 4 приведены значения толщины препрега и содержания смолы для каждого типа препрега. После изготовления печатной платы конкретное значение толщины слоя препрега меняется в зависимости

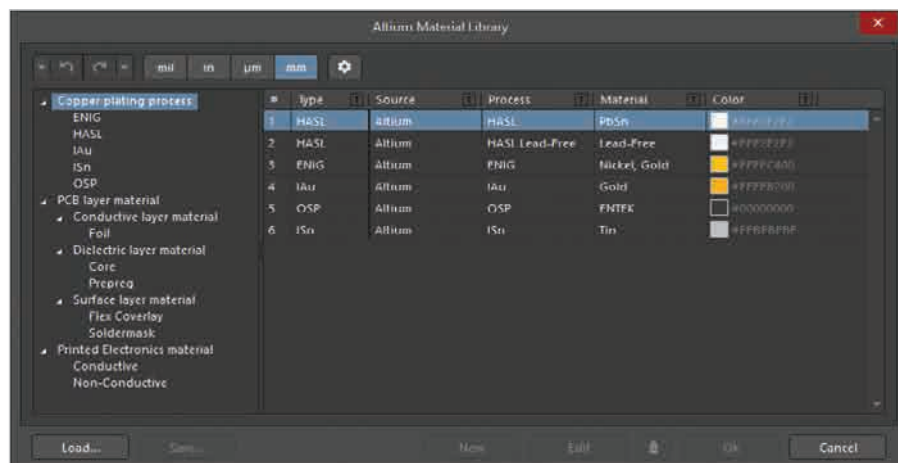


Рис. 5. Библиотека материалов

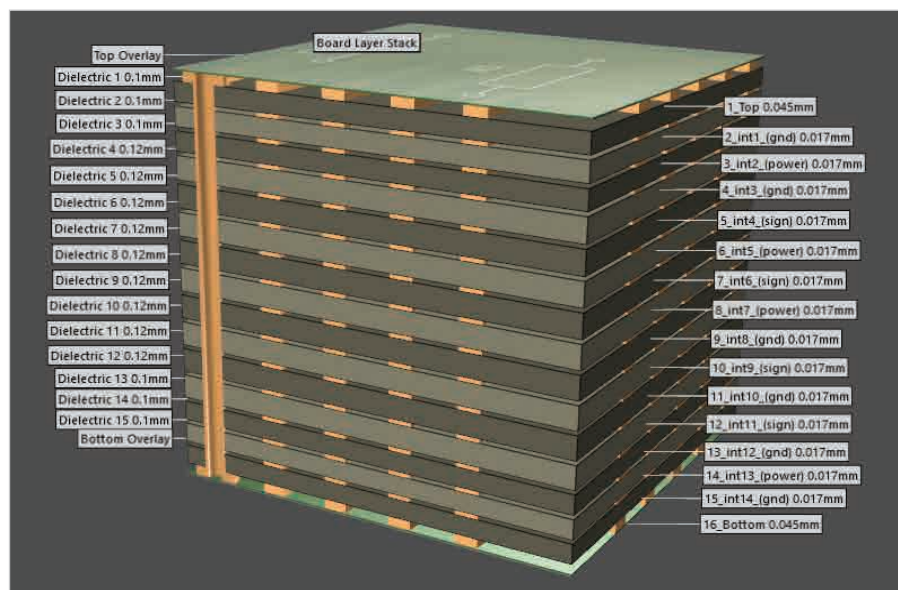


Рис. 6. Трёхмерная визуализация слоёв

- толщина платы будет определять настройку станков при производстве;
- толщина платы будет влиять на различные ограничения при производстве, в том числе и на соотношения сторон.

Производители печатных плат обычно рекомендуют подбирать толщину печатной платы в диапазоне от 0,02 до 6,1 мм.

Следует учитывать, что при толщине печатной платы менее 1,27 мм, для её изготовления могут потребоваться специальные технологии производства и обработки, что, как правило, приводит к увеличению стоимости и сроков изготовления.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТЕКА ПЛАТЫ В ALTIUM DESIGNER – LAYER STACK MANAGER

Определение структуры слоёв является очень важным элементом проектирования платы. Для успешного проектирования конструкции необходимо грамотно подобрать материалы,

задать структуру слоёв, учесть факторы, влияющие на изготовление изделия, и настроить параметры трассировки.

Для формирования стека печатной платы и выбора материалов можно воспользоваться САПР Altium Designer и встроенным в него менеджером структуры слоёв (Layer Stack Manager). Данный менеджер позволит не только составить стек печатной платы, но и учесть ряд других обязательных аспектов: парность слоёв, переходные отверстия, требования к обратному высверливанию, требования к гибко-жестким платам, симметрия структуры слоёв, соответствие материалов и прочее. Все операции выполняются в едином редакторе, где возможна реализация всех вариантов стеков печатных плат:

- однослойных;
- двухслойных;
- многослойных печатных плат типа MCO (максимальное количество слоёв – 32 сигнальных и 16 экранирующих);

- многослойных печатных плат, изготавливаемых методом попарного прессования;
- гибко-жестких.

На рисунке 4 показан интерфейс менеджера структуры слоёв на примере 16-слойной печатной платы. Слои, которые добавляются на вкладке Stackup в Layer Stack Manager, будут изготовлены в рамках технологического процесса. Свойства слоёв можно ввести непосредственно в таблице или панели Properties либо выбрать из библиотеки материалов. Имеется возможность загрузки и сохранения структуры слоёв в шаблоны. Помимо материалов, рассмотренных ранее в статье, существует большое разнообразие материалов, используемых в производстве печатных плат. Выбор материалов слоёв и их свойств всегда следует проводить по согласованию с изготовителем платы. Предпочтительные материалы структуры слоёв можно предварительно определить в библиотеке материалов (см. рис. 5).

Altium Designer позволяет осуществлять контроль за используемыми материалами в проекте. Если в Layer Stack Manager включён параметр Library Compliance, то для каждого слоя, материал которого выбран в библиотеке, будет выполняться проверка значений его свойств на соответствие значениям свойств материала в библиотеке. В библиотеку материалов можно добавлять все типы материалов, используемых при изготовлении печатных плат:

- сигнальные слои (фольга);
- диэлектрические слои (основание и препрег);
- покрытия печатной платы (защитная паяльная маска и защитная плёнка на гибкой части);
- финишные покрытия проводящих слоёв (ENIG, HASL, IAu, ISn, OSP).

Для предотвращения коробления печатной платы после изготовления Altium Designer может выполнять контроль симметричности печатной платы (параметр Stack Symmetry в разделе Substack Properties панели Properties) относительно центрального диэлектрического слоя. При обнаружении отличия в равноудалённых от центра слоях, будет выведено сообщение «Stack is not symmetric». В верхней части диалогового окна отображается подробная информация обо всех найденных конфликтах в симметрии структуры.

Эффективным способом проверки стека слоёв является его визуализация в 3D (см. рис. 6). Иногда достаточ-

но взглянуть на результат работы со стороны, чтобы определить недостатки стека. Для получения необходимого типа визуализации имеется ряд элементов управления, которые позволят настроить способ визуализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для начала проектирования печатной платы, пригодной для производства, необходимо знать основные материалы и их характеристики, а именно: ядра печатной платы (базовый материал, толщина), препрега (обозначение, толщина), медной фольги (тип, сопротивление, допустимая токовая нагрузка). Зная эти параметры, можно рассчитать максимальную толщину печатной платы, которая напрямую повлияет на стоимость изготовления и требования к обработке.

Получить наглядное представление проекта, выбрать материалы, автоматизировать процесс расчёта толщины и учесть все аспекты, влияющие на последующее изготовление платы, поможет менеджер слоёв, входящий в состав САПР Altium Designer.

В следующей статье будет рассказано, как проектировать печатную плату, пригодную для производства. Будет рассмотрено размещение переходных отверстий, правила размещения информации на слое шелкографии, правила выполнения защитной паяльной маски и другие немаловажные аспекты проектирования, влияющие на последующее изготовление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологии изготовления печатных плат, применяемые на производстве

компании ООО «Резонит»: <https://www.rezonit.ru/support/technology/>.

- IPC-2222 – Material Selection. 2012. 23 May. 2016: <http://www.ipc.org/toc/ipc-2222.pdf>.
- Selecting PCB Materials for High-frequency Applications. EDN. N.p., n.d. Web. 23 May 2016.
- Materials Default Values. Multi Printed Circuit Boards Ltd. Poole, 01.01.2016.
- T. Hausherr. Design for Manufacturability (Dfm). Design for Manufacturability of Rigid Multi-Layer Boards. PCB Libraries.
- Circuit Calculator: <http://circuitcalculator.com/>.
- EWeb Trace Resistance Calculator: <https://www.eeweb.com/tools/trace-resistance>.
- Endmemo Resistance Calculator: <http://www.endmemo.com/physics/resistance.php>.
- Generic Standard on Printed Board Design. Northbrook, IL: IPC, 1998: www.ipc.org/TOC/IPC-2221A.pdf.



НОВОСТИ МИРА

ALTИUM ПРЕДСТАВИЛА ПЕРВОЕ В ОТРАСЛИ ОБЛАЧНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Электронные компоненты играют главную роль при разработке и производстве печатных плат, которые являются основой современных умных устройств. Чтобы своевременно удовлетворять спрос рынка на такие устройства, необходимо создавать и повторно использовать данные о компонентах в процессе проектирования печатных плат, такие как условно-графические обозначения, посадочные места и 3D-модели.

До сих пор большинство разработчиков печатных плат создавали и хранили данные о компонентах в локальных файловых системах, нежели в общей, управляемой и администрируемой библиотеке. Некоторые пытались использовать общие электронные таблицы или собственные базы данных. Эти устаревшие подходы приводили к многократным циклам повторных работ проектирования из-за избыточных, неточных или устаревших данных о компонентах, которые зачастую обнаруживаются, когда проекты уже отправлены производителем.

Облачное приложение Altium Concord Pro помогает обеспечить всех проектировщиков, закупщиков и технологов доступом к одному и тому же набору данных о применяемых компонентах. При этом процесс установки, настройки, использова-

ния и администрирования управляемых библиотек компонентов является предельно простым и понятным. Concord Pro также обеспечивает надёжность хранения и актуальность информации о компонентах. Это возможно благодаря интегрированному подключению к информации о цепочке поставок, предоставляемой системой Octopart.

«Данные об электронных компонентах находятся в самом центре различных взаимодействий, где переплетаются проектирование и разработка, цепочки поставок и производство», – отметил Ли Гон (Leigh Gawne), главный архитектор программного обеспечения Altium. – Concord Pro – это первое и единственное в отрасли приложение, которое использует мощь облачных технологий, чтобы упростить обмен данными о компонентах, и позволяет разработчикам быть уверенными в том, что печатная плата будет изготовлена, собрана и доставлена точно в срок».

Пользователи теперь могут быстро попробовать Concord Pro в облаке, включённом в Altium 365 – новую облачную платформу для совместного проектирования и реализации электроники. Concord Pro также доступно в локальной корпоративной среде через Altium Designer 19 и через Altium Designer 20.

Возможности Altium Concord Pro:

- единая общая библиотека управляемых данных о компонентах – одна платформа, в которой можно искать, использо-

вать и поддерживать данные о компонентах, в том числе создавать запросы на новые/обновлённые модели компонентов, а также распределять доступ к данным на основе ролей пользователей;

- описание компонентов на основе шаблонов – унифицированный способ определения и создания данных о компонентах;
- данные о цепочке поставок в реальном времени или исходные данные – это прямая передача данных о поставщиках от Octopart, включая информацию о наличии, сроках поставки, источниках, ценах, альтернативах и заменах;
- контроль применимости компонентов – ведение истории или «контрольного журнала» для того, чтобы иметь информацию о том, где (и в каких проектах) была использована определённая версия компонента;
- мгновенное подключение – установка и настройка сервера при подключении к облачной инфраструктуре Altium 365 не требуется;
- двунаправленное взаимодействие с Solidworks, Inventor и PTC Creo, проектные группы MCAD и ECAD теперь могут взаимодействовать для определения формы платы, размещения компонентов и монтажных отверстий при помощи интеллектуальной связи ECAD- и MCAD-систем на уровне 3D-моделей.

Пресс-релиз Altium